

明細書

光部品及び光モジュール

技術分野

本発明は、光通信や情報処理で使用する光部品及びこれを用いた光モジュールに関する。

背景技術

光通信分野のうちでもアクセス系のシステムでは、近年、1芯の光ファイバによる双方向通信方式が主流になりつつある。この場合、センタ側から加入者側には、1. 49 μmまたは1. 55 μmの波長のレーザ光を用い、加入者側からセンタ側へは、1. 3 μmのレーザ光を用いる波長多重伝送方式(WDM)が利用されている。

上記のようなシステムに必要とされる光モジュールは、センタ側で、波長1. 49 μmまたは1. 55 μmのレーザ光を発生する半導体レーザと、波長1. 3 μmのレーザ光を受信するPD等の受光素子と、両波長を分離するためのWDMフィルタ回路とを必要とする。また、加入者側でも、波長1. 3 μmのレーザ光を発生する半導体レーザと、波長1. 49 μmまたは1. 55 μmのレーザ光を受信するPD等の受光素子と、両波長を分離するためのWDMフィルタ回路とを必要とする。

例えば、第1のタイプの一芯双方向モジュールの場合、ファイバ端に光軸に対して傾斜させたフィルタを配置し、ファイバ端からの光のうち目的とする波長の光のみをフィルタで反射させてレンズにより調芯しつつ受光素子に導く。一方、半導体レーザからの光は、レンズにより調芯しつつ、フィルタを介してファイバ端に結合させることができる(例えば、電子情報通信学会総合大会予稿集(2000年)、B-10-168、p543「下り622Mb/s対応ATM-PON用同軸集積型ONU光モジュール」; 電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会予稿集(1996年)、C-208、p208「レセプタクル型双方向波長多重光モジュールI」)。

また、第2のタイプの一芯双方向モジュールは、ファイバ端に光導波路を接合するとともに、この光導波路に対して角度付の溝をダイシング等によって加工し、この溝に傾斜したフィルタを配置する構造を有する。ここで、ファイバ端からの光のうち目的とする波長の光のみをフィルタで反射させて受光素子に導き、フィルタの後方に配置された半導体レーザからの光をフィルタ及び導波路を透過させることで、ファイバ端に結合させている（例えば、特開2000-228555号公報；電子情報通信学会エレクロトニクスソサエティ大会予稿集（1997年），C-3-89，p198，「表面実装型 LD/PD 集積化モジュール」）。

また、第3のタイプの一芯双方向モジュールは、V字状のPLC導波路を用いてV字の分岐した一対の端部にファイバ端と半導体レーザとをそれぞれ配置し、V字の底部に対応するPLC導波路の端面にフィルタを設けこれに受光素子を対向配置させている。そして、ファイバ端からの光のうち目的とする波長の光のみを、PLC導波路の端面でフィルタを介して受光素子に導き、半導体レーザからの光をPLC導波路の端面に設けたフィルタで反射させてファイバ端に結合させている（例えば、電子情報通信学会総合大会予稿集（2000年）、C-3-132、p3128、「 $1.3\mu m/1.55\mu m$ -WDM型 PLC モジュールの開発」；Oguro et al., "1.25Gb/s WDM Bi Directional Transceiver Module Using with Spot-size Conversion Region", 2002 Electronic Components and Technology Conference；電子情報通信学会総合大会予稿集（2000年），B-10-166，p541「ATM-PON OUN 用光送受信モジュールの作製」；電子情報通信学会総合大会予稿集（2000年），C-3-129，p308「ATM-PON OUN 用光送受信モジュールの低クロストーク化に関する検討」）。

しかし、上記第1のタイプの光モジュールは、レンズ等の配置調整を行う調芯工程が必要となり、光モジュールの製造に熟練や精度を要し、歩留まりも低下する。

また、上記第2のタイプの光モジュールは、導波路を用いているためレンズ等の調芯が不要であるが、導波路の形成後に、溝加工や、フィルタの挿入・接着の工程が必要となり、光モジュールの製造工程が複雑なものとなる。

また、上記第3のタイプの光モジュールも、導波路の形成とは別に、フィルタの貼り付け等の工程が必要となり、光モジュールの製造工程が複雑なものとなる。

発明の開示

本発明は、高精度の光モジュールの簡易な製造を可能する光部品を提供することを目的とする。

また、本発明は、簡易な作業で作製することができ、高い精度を有する光モジュールを提供することを目的とする。

本発明の光部品の態様は、所定の軸方向に沿って延びる面形状を有し、少なくとも1つの光導波路を、当該少なくとも一つの光導波路の側面の少なくとも一部で位置決めしつつ保持可能である導波路保持面と、前記導波路保持面に略対向して延在するとともに、前記所定の軸方向に垂直な所定の幅方向において、前記少なくとも一つの光導波路の外径よりも狭い幅を有する開口部とを有するガイド用の導波路用溝を備えている。

かかる構成によれば、上記光部品の導波路用溝では、所定の軸方向に沿って延びる面形状を有する導波路保持面によって、少なくとも1つの光導波路をその側面の少なくとも一部で位置決めしつつ保持可能であるので、導波路用溝の導波路保持面に沿って光導波路を挿入するだけで光導波路の簡易な保持やアライメントが可能になる。

また、導波路用溝の開口部が、導波路保持面に略対向して延在するとともに、所定の幅方向において少なくとも1つの光導波路の外径よりも狭い幅を有するので、導波路用溝に位置決めされた光導波路の離脱を防止しつつ、導波路用溝の外部から導波路用溝に位置決めされた光導波路中に開口部を介して光を導入したり、この光導波路中から開口部を介して必要な光を取り出したりする光分岐結合機能を簡易に付加することができる。なお、導波路用溝に光導波路を挿入する際には、開口部を介して導波路端を直接観察することができるので、光導波路端部のアライメントが比較的簡単なものとなり組立精度を高めることができる。

本発明の光部品の具体的な態様では、前記導波路用溝において、前記導波路保持面は、中心角が 180° よりも所定角度以上に大きな円弧を当該円弧の面に垂直な前記所定の軸方向に延ばすことによって得られる半筒形状を有し、前記開口部は、半筒形状の前記導波路持面について周方向の一対の対向する周端部間に延

在することを特徴としている。

かかる構成によれば、導波路用溝の断面形状が文字「Ω」に似たものとなるので、導波路用溝の加工が比較的簡単なものとなり、かつ、光導波路を高精度にアライメントして確実に保持することができる。

また、本発明の光部品の具体的な態様では、前記光導波路には、所定の特性を持つフィルタが備えられ、当該フィルタは、前記開口部に対応して位置するよう固定されることを特徴としている。

かかる構成によれば、光部品を光合分波器等の光パッシブディバイスとして活用することができる。なお、このフィルタは、バンドパスフィルタ、NDフィルタ等とすることもできるが、ミラーとしてもできる。

また、本発明の光部品の具体的な態様では、前記フィルタは、前記光導波路を伝搬される伝搬光の光軸に対し所定の傾斜角を有することを特徴としている。

かかる構成によれば、フィルタは、上述の所定の軸方向に対して所定の傾斜角を有することになるので、光導波路の端面での反射を利用して、例えば光導波路と開口の外部との間で簡易に光の結合や分岐を行うことができる。

また、本発明の光部品の具体的な態様では、前記フィルタは、光導波路の端面に設けられたことを特徴としている。

かかる構成によれば、光導波路の端面を利用して簡易に高精度のフィルタを組み込むことができる。

また、本発明の光部品の具体的な態様では、前記導波路用溝の少なくとも一部の断面形状がΩ状であることを特徴している。

かかる構成によれば、導波路用溝の加工が比較的簡単なものとなり、かつ、光導波路を高精度にアライメントして確実に保持することができる。

また、本発明の光部品の具体的な態様では、複数の前記導波路用溝が備えられたことを特徴としている。

かかる構成によれば、各導波路用溝に光導波路をそれぞれ挿入するだけで各光導波路が簡易に保持されアライメントされる。

また、本発明の光部品の具体的な態様では、前記光導波路は、その側面の少なくとも一部が前記導波路用溝に係止されていることを特徴としている。

かかる構成によれば、光導波路を導波路用溝に対して確実に位置決めした状態に保つことができる。なお「係止」とは、半田や接着剤を利用して固定又は接着される場合に限らず、導波路用溝内において光導波路の運動（軸方向に沿って又は軸方向の回り）が一定以上の抵抗力で制限される状態をいう。

本発明の光モジュールの態様では、上記態様の光部品と、前記光部品と光学的に結合される光学素子とを備え、前記光部品と前記光学素子とは、前記光部品の開口部を介して光学的に結合されることを特徴としている。

かかる構成によれば、光モジュールを構成する光部品が上述のような導波路用溝を備えるので、簡単な構造の導波路用溝に1つ又は2つの光導波路を挿入して適当な位置に固定するだけで、光学素子から出射する光を開口部を介していずれかの光導波路中に導入したり、かかる光導波路中から開口部を介して必要な光を取り出して光学素子に入射させたりすることができる。なお、光学素子は、例えばフォトセンサ、レーザダイオード、レンズ等で構成することができる。

本発明の光モジュールの具体的な態様では、前記光部品がアライメント手段をさらに備え、当該アライメント手段により前記光部品が位置決めされることを特徴としている。

かかる構成によれば、光部品を用いた光モジュールの作製を簡単で低コストでありながら高精度とすることができる。

本発明の光モジュールの態様は、上記態様の光部品と、前記光部品に導かれる信号光を出力する光源部と、前記光源部から出力された信号光のスポットサイズを変換し、前記光部品の前記少なくとも一つの光導波路の端部に適合するスポットサイズで結合するスポットサイズ変換部とを備えることを特徴としている。

かかる構成によれば、光源部から出力された信号光が光導波路の端部に結合する際、双方のスポットサイズが異なる場合であってもスポットサイズ変換部により適正なスポットサイズに変換することができるので、簡単な構成で信号光の結合損失を確実に低減させて十分な出力パワーを確保することが可能となる。

本発明の光モジュールの具体的態様では、前記スポットサイズ変換部は、基板上に載置された平面光波回路により形成されることを特徴としている。

かかる構成によれば、スポットサイズ変換部を平面光波回路により形成し基板

上に載置すればよいので、光導波路技術を用いてレンズ等を用いることなくスポットサイズの変換を容易に行うことができる。

本発明の光モジュールの具体的な態様では、前記スポットサイズ変換部が形成される基板と前記光源部が形成される基板は別体で構成され、それぞれ独立に位置決め可能であることを特徴としている。

かかる構成によれば、光源部が形成される基板に対し、それとは別体の基板にスポットサイズ変換部を形成したので、両者の位置合わせを独立に行って光モジュールの製造を容易化することができる。

本発明の光モジュールの具体的な態様では、前記スポットサイズが形成される基板と前記光源部が形成される基板には、それぞれV溝が形成されるとともに、前記光部品を保持する保持部材に突起が形成され、前記各々のV溝と前記突起を嵌合することにより位置決め可能であることを特徴としている。

かかる構成によれば、光源部が形成される基板とスポットサイズ変換部が形成される基板は、それぞれに形成されたV溝を保持部材の突起と嵌合させて位置決めすればよいので、位置合わせを簡素化することができる。

図面の簡単な説明

図1は、第1実施形態に係る光部品を説明するための図であり、図1Aが組立前の斜視図、図1Bが組立後の斜視図である。

図2は、図1に示す光部品について、図2AがA-A矢視の正面断面図であり、図2Bは、図1に示す光部品のA-A矢視の側方断面図である。

図3は、光ファイバの端面の加工方法を説明する図である。

図4は、図1及び図2に示すファイバ組立固定部材の変形例を説明する図である。

図5は、第2実施形態に係る一芯双方向型の光モジュールの構造を説明する側方断面図である。

図6は、光検出部とファイバの保持部材とのアライメントを説明する正面図である。

図7は、第3実施形態に係る一芯双方向型の光モジュールの構造を説明する斜

観図である。

図8は、図7の光モジュールについて、図8 AがC—C矢視断面図であり、図8 Bが光モジュールのD—D矢視断面図である。

図9は、第4実施形態に係る光モジュールの構造を説明する側面図である。

図10は、第5実施形態に係る光モジュールの構造を説明する説明する側方断面図である。

図11は、スポットサイズ変換素子の構造及び動作を説明する図である。

図12は、表1の寸法条件を適用したスポットサイズ変換素子の伝搬領域の大きさと伝搬光のスポットサイズの大きさの関係を表す図である。

図13は、半導体レーザ素子及び第2光ファイバのそれぞれの結合損失と伝搬領域の寸法の関係を示す図である。

図14は、スポットサイズ変換素子を用いて構成される光モジュールの出力パワーの温度特性を表す図である。

図15は、第2保持部材に対するスポットサイズ変換部の位置合わせを説明する断面図である。

図16は、第5実施形態の変形例におけるスポットサイズ変換素子の上面図である。

発明を実施するための最良の形態

(第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係る光部品を説明するための図であり、図1 Aが組立前の斜視図、図1 Bが組立後の斜視図である。また、図2 Aは、図1に示す光部品のA—A矢視の正面断面図であり、図2 Bは、図1に示す光部品のA—A矢視の側方断面図である。

第1実施形態に係る光部品は、ファイバ組立固定部材であり、板状の部品本体10の上部中央に、断面形状がΩ状の導波路用溝であるファイバ溝20を有する構造となっている。つまり、ファイバ溝20は、半筒形状を有する導波路保持面であるファイバ保持面21と、ファイバ保持面21の対向する一対の周端部21a、21b間に延びる開口部23とからなる。ファイバ保持面21の軸方向の両

端には、光導波路である一对の光ファイバF 1、F 2の挿入を許容する一对の軸端部21c、21dが形成されている。

部品本体10は、トランスファ成形装置やホットプレス装置を利用して、エンジニアリングプラスチック等の材料を加熱・加圧下で成形することによって一体的に形成される。

ファイバ溝20に設けた両軸端部21c、21dに挿入される一对の光ファイバF 1、F 2は、ファイバ溝20の中央付近で端部F 1a、F 2aが突き合わされて固定される。両光ファイバF 1、F 2の固定に際しては、エポキシ等の各種接着剤ADを利用することができます。ここで、両光ファイバF 1、F 2の端面同士を突き合わせる際には、開口部23を介して端部F 1a、F 2aを直接観察することができるので、光部品の組立精度を簡易に高めることができます。

なお、用途にもよるが、両光ファイバF 1、F 2の固定は不可欠のものではない。例えば、一定の抵抗力でファイバ溝20中の両光ファイバF 1、F 2の移動が防止されれば足る。

図2Aの正面断面に示すように、ファイバ溝20のファイバ保持面21は、溝底部側の支持部21gと、溝上部側の一対の係止部21hとからなる。ここで、支持部21gは、両光ファイバF 1、F 2の端部F 1a、F 2aをその側面の下方側から支持する。また、一対の係止部21hは、両光ファイバF 1、F 2の端部F 1a、F 2aをその側面の上方側の2箇所で係止する。これにより、両光ファイバF 1、F 2がファイバ溝20中にともにアライメントされた状態で保持される。両係止部21hの間は開口部23になっており、両光ファイバF 1、F 2の端部F 1a、F 2aの上側面が露出する。

図2Bの側方断面に示すように、両光ファイバF 1、F 2の間に、フィルタFLが介挿されている。このフィルタFLは、光ファイバF 1側の端部F 1aに、例えば真空蒸着装置等の成膜装置を利用して成膜された誘電体多層膜であり、特定波長よりも長い波長や短い波長の光を遮断するカットフィルタ、特定波長のみを透過させるバンドパスフィルタ等として機能する。例えばフィルタFLがバンドパスフィルタである場合、光ファイバF 1のコアCOによって伝搬されてフィルタFLに達した光のうち所望波長の光のみがフィルタFLを通過し、残りは全

て反射される。

フィルタ F Lを通過した特定波長の光は、そのまま直進し端面F E 2を介してファイバF 2に結合され、ファイバF 2のコアCOによってそのまま伝搬される。一方、フィルタ F Lで反射された光は、両光ファイバF 1、F 2の端面F E 1、F E 2が伝搬光の光軸に対して8°程度傾斜するように加工されていることからコアCO外に出射し、戻り光となることが防止される。

なお、フィルタ F Lは不可欠のものではない。図1 Aに示す光部品を単にメカニカルスプライス接続部品として用いる場合、両光ファイバF 1、F 2の端面にフィルタ F Lを設けない。また、フィルタ F Lとして、波長特性を有しないNDフィルタやハーフミラー等を用いることにより、図1及び図2に示すような装置をパワータップとして用いることもできる。

図3は、図1に示す光ファイバF 2の端面F E 2の加工方法を説明する図である。まず、図3 Aの側面図に示すように、多心のMTフェルール3 1を準備し、これにアレイ状に形成した孔3 2に光ファイバF 1～F nを挿入して端面3 3にファイバ端を露出させ、これらの光ファイバF 1～F nをワックスにて固定する。

なお、図面では明確でないが、MTフェルール3 1に設けた保持用の孔3 2や光ファイバF 1～F nは、紙面に垂直な方向に配列されている。

次に、MTフェルール3 1とともに光ファイバF 1～F nを研磨して、端面3 3を例えば30°傾斜させる。その後、光ファイバF 1～F nをMTフェルール3 1から分離して、MTフェルール3 1や光ファイバF 1～F nを洗浄する。

次に、MTフェルール3 1の各孔3 2に再び光ファイバF 1～F nをセットし、端面3 3にファイバ端を露出させて固定する。さらに、MTフェルール3 1の傾斜した端面1 3 3を覆うようにステンシルマスク3 5を取付ける(図3 B参照)。ステンシルマスク3 5には、端面3 3に露出する各孔3 2に対応して開口部3 5 aが形成されている。さらに、ファイバホルダ3 7を利用してMTフェルール3 1の後方側で光ファイバF 1～F nの被覆を保護するようにマスクするとともに、ファイバホルダ3 7の先端をMTフェルール3 1の根元側に固定する(図3 C参照)。

その後は、蒸着装置で、MTフェルール3 1の端面1 3 3すなわちステンシル

マスク 3 5 側に適当な材料からなる誘電体多層膜を堆積する。これにより、各光ファイバ F 1 ~ F n の端面にのみ誘電体多層膜からなるフィルタを形成することができる。フィルタの蒸着後は、ステンシルマスク 3 5 やファイバホルダ 3 7 を取り外し、MT フェルール 3 1 から各光ファイバ F 1 ~ F n を分離する。以上により、一回の蒸着工程で多数の光ファイバ F 1 ~ F n の各端面に同一特性のフィルタを形成することができる。

図 4 は、図 1 及び図 2 に示す光部品の変形例を説明する図である。図 4 A は、図 2 B 等に示すフィルタ F L の配置等を変更して、例えば光監視用モニタ波長反射のためのターミネーションケーブル等として機能させる例を示す。この場合、フィルタ F L が両光ファイバ F 1 、 F 2 の光軸に対して約 2° 程度の傾斜を有する。つまり、光ファイバ F 1 、 F 2 の端面 F E 1 、 F E 2 が約 2° 程度傾斜するように加工されており、フィルタ F L で反射された例えば波長 λ 1 の光は、伝搬してきた方向に戻される。一方、フィルタ F L を透過した例えば波長 λ 2 の光は、そのまま直進して光ファイバ F 2 に結合されることになる。

図 4 B は、図 4 A の光部品をさらに変更した第 2 の変形例の側方断面図である。この場合、フィルタ F L に対向して光学素子であるフォトダイオード 2 5 が配置されており、フィルタ F L で反射された波長 λ 1 の光は、開口部 2 3 を介してフォトダイオード 2 5 に入射する。このフォトダイオード 2 5 は、光透過性の樹脂接着剤等からなる固定部材 2 6 によって、フィルタ F L や開口部 2 3 に対してアライメントされた状態で固定される。

図 4 C は、図 1 及び図 2 示す光部品に関連する第 3 の変形例の側方断面図である。この場合、部品本体 1 1 0 が厚くなっており、中央にファイバ接合部を露出させるためのピット 2 8 が形成されている。ピット 2 8 の底部 2 8 a は平坦になっており、底部 2 8 a の中央を横切るようにファイバ溝 1 2 0 が形成されている。

このファイバ溝 1 2 0 は、図 2 A の場合と同様のファイバ保持面を有して断面形状が Ω 状となっており、上部に軸方向に延びる開口部 1 2 3 を有する。この開口部 1 2 3 には、一対の孔 2 9 a 、 2 9 b から挿入された一対の光ファイバ F 1 、 F 2 の端部が露出する。この場合も、開口部 1 2 3 を利用することにより、両光ファイバ F 1 、 F 2 の接続に際して両者の密着状態等の突き合わせ状態を直接観

察できるので、光部品の組立精度を簡易に高めることができる。

なお、両光ファイバF 1、F 2の固定に際しては、両孔2 9 a、2 9 bに両光ファイバF 1、F 2を挿入する際に両光ファイバF 1、F 2の側面に接着剤を付着させて軸方向に往復移動させることで、確実な固定が可能になる。

図4 Dは、図1や図2に示す光部品を変更した第4の変形例の部分正面断面図である。この場合、ファイバ溝2 2 0は、正方形の一頂点をカットした五角形状の断面を有する。ファイバ溝2 2 0の内面は、ファイバ保持面の一例である一対の支持面2 2 1 gと、一対の係止面2 1 hとからなる。ここで、一対の支持面2 2 1 gは、両光ファイバF 1、F 2をその側面の下方側で支持する。また、一対の係止部2 1 hは、両光ファイバF 1、F 2をその側面の上方側の2箇所で係止する。これにより、両光ファイバF 1、F 2がファイバ溝2 2 0中に互いにアライメントされた状態で保持される。両係止面2 2 1 hの間は開口部2 2 3になつており、両光ファイバF 1、F 2の上側面が露出する。

(第2実施形態)

図5は、第2実施形態に係る一芯双方向型の光モジュールの構造を説明する側方断面図である。この光モジュール4 0は、図1及び図2に示すファイバ組立固定部材と同様の構造を有する光部品を用いて製造される。

図5からも明らかなように、光モジュール4 0は、波長1. 3 μmの信号光を発生するレーザ光源部4 1と、波長1. 49 μmの信号光を受信する光検出部4 2と、フェルール4 3から延びる第1光ファイバF 1を保持するとともに両波長1. 3 μm及び1. 49 μmを分離するためのWDMフィルタを保持する第1保持部材4 5と、第1保持部材4 5から延びる短尺の第2光ファイバF 2をレーザ光源部4 1に対してアライメントする第2保持部材4 6とを備える。

レーザ光源部4 1は、半導体レーザ素子4 1 aやモニタ用フォトダイオード素子4 1 bをSi基板上に搭載し、導波路で接続したものであり、所望の波形を有する波長1. 3 μmの信号光を第2保持部材4 6に固定された第2光ファイバF 2の端部に供給する。

光検出部4 2は、信号検出用のフォトダイオード素子4 2 aをSi基板上に搭載したものであり、第1保持部材4 5に固定された第1光ファイバF 1の端面に

形成されたWDM型のフィルタFLで反射された波長1.49 μmの信号光を受信する。

第1保持部材45は、図1に示すファイバ組立固定部材と同様に断面形状がΩ状のファイバ溝45aを有している。一方、第2保持部材46は、一般的なフェルールと同様、断面形状が円形のファイバ溝46aを有している。両保持部材45、46は、光ファイバF1、F2と光素子41a、42aとをアライメントするためには用いられ、一種のフェルールとして機能する。

なお、レーザ光源部41や光検出部42は、受信信号を増幅する電気アンプIC(TIA:Trans-impedance amplifier)、コンデンサ等のチップ部品とともに、リードフレームをモールドした基板47上に固定されている。基板47上のレーザ光源部41や光検出部42は、フェルール43等を固定するパッケージ48内部に挿入されパッケージ48と基板47とに挟まれた状態で封止される。なお、一対の光ファイバF1、F2を位置合わせした状態で固定するための第1及び第2保持部材45、46は、別体として形成しているが、トランスマッシュ成形やホットプレスにより、パッケージ48と一体化した状態で成形することもできる。このように、パッケージ48に第1及び第2保持部材45、46を予め一体的に作り込んでおくことにより、光モジュールの組立工程を簡単にすることができます。

図6は、第1保持部材45に対する光検出部42のアライメントを説明する正面図である。光検出部42は、Si基板で形成されており、精密な深さのV溝42c、42dを簡単に形成することができる。よって、第1保持部材45にV溝42c、42dにはまり込む突起45c、45dを予め形成しておけば、光検出部42上に一定の圧力で第1保持部材45を押し付けるだけで、両者を精密に位置合わせすることができる。また、レーザ光源部41と第2保持部材46も、光検出部42及び第1保持部材45と同様にアライメントされる。

なお、第1及び第2保持部材45、46がパッケージ48に一体的に作り込まれている場合、パッケージ48に対してレーザ光源部41や光検出部42を搭載した基板47を押し付けることにより、第1及び第2保持部材45、46に対して光検出部42及びレーザ光源部41をそれぞれアライメントすることができる。

図5に戻って、光モジュール40の動作について説明する。レーザ光源部41

に形成した半導体レーザ素子41aの端面から出射した波長1.3μmの信号光は、第2光ファイバF2の一端に入射してフィルタFLを透過し、第1光ファイバF1を伝搬し、外部に設けた他のフェルールに保持された光ファイバ(不図示)に結合される。また、外部から導入された波長1.49μmの信号光は、第1光ファイバF1を経てフィルタFLで反射され、光検出部42に設けたフォトダイオード素子42aに入射する。なお、この場合、波長1.49μmの信号光を光検出部42で検出することとしたが、フィルタFLの変更等により、波長1.55μmの信号光或いは波長1.49μm、1.55μmの双方を光検出部42で検出することもできる。

以下、図5に示す光モジュール40の組立について簡単に説明する。まず、レーザ光源部41や光検出部42以外のチップ部品をリードフレーム上に固定することによって電気パッケージである基板47を組み立てる。そして、レーザ光源部41や光検出部42を基板47上に固定して必要な電気接続を金ワイヤ等により行う。

一方、第1及び第2保持部材45、46を樹脂や接着剤を利用してパッケージ48に組み立てる。次に、フェルール43から延びるとともに適当な傾斜角を設けた先端にフィルタFLを形成した第1光ファイバF1を、パッケージ48に設けた第1保持部材45の一端から挿入する。そして、第1光ファイバF1の端面の傾斜角に対応する傾斜角を設けた第2光ファイバF2を、第2保持部材46を介して第1保持部材45の他端から挿入し、両光ファイバF1、F2を第1保持部材45等に固定する。この際、第1及び第2光ファイバF1、F2間に設けたフィルタFLが第1保持部材45の適所に配置されるように位置決めする。さらに、フェルール43も、パッケージ48に対して固定される。

その後、パッケージ48に基板47をはめ込んで、基板47上のレーザ光源部41と光検出部42に形成したV溝を、パッケージ48上の第1及び第2保持部材45、46に形成した突起に嵌合させ、これらを相互に位置合わせする。かかる位置合わせに際して、シリコーン樹脂やエポキシ樹脂を用いてパッケージ48と基板47を接着し封止することで、光モジュール本体を完成する。

最後に、CL、MU、SC等の用途に応じたレセプタクル部品(図示せず)を

取り付けることによって、コネクタ接続可能な光モジュールとなる。

(第3実施形態)

図7は、第3実施形態に係る一芯双方向型の光モジュールの構造を説明する斜視図である。この光モジュール50は、図6に示す光モジュールを複数チャンネル化したものである。

図7に示す光モジュール50は、フェルール51と、アレイ型保持部材52と、アレイ型発光部53と、アレイ型受光部54とを備え、別に設けたフェルール60に対して機械的に接続することによって、このフェルール60との間でアレイ状のファイバFA単位で光結合が達成される。なお、上記光モジュール50において、アレイ型保持部材52は概念的にフェルール51とは別のものであるが、ランスファ成形やホットプレスによってフェルール51と一体的に形成される。

アレイ型保持部材52は、フェルール51に組み込まれたアレイ状のファイバFAに対してアレイ型発光部53やアレイ型受光部54を一括してアライメントするためのものであり、図5に示す第1及び第2保持部材45、46を集積してアレイ型にしたものである。

アレイ型発光部53は、Si基板53a上に送信用LDアレイ53cとモニタ用PDアレイ53dとを形成したものである。また、Si基板53aの両端には、アライメント用のV溝53e、53fが形成されている。なお、送信用LDアレイ53c等は、フェルール51に組み込まれたアレイ状の光ファイバFAと同数だけ同じ間隔で配列されている。

アレイ型受光部54は、Si基板54a上に受信用PDアレイ54cを形成したものである。また、Si基板54aの両端には、アライメント用のV溝54e、54fが形成されている。なお、受信用PDアレイ54cも、アレイ状の光ファイバFAと同数だけ同じ間隔で配列されている。

図8Aは、図7に示す光モジュール50のC-C矢視断面図であり、図8Bは、光モジュール50のD-D矢視断面図である。

図8Aに示すように、C-C矢視断面において、アレイ型保持部材52の下面には、断面形状がΩ状で紙面に垂直な方向に延びるファイバ溝52bが等間隔で平行に複数形成されている。各ファイバ溝52bには、光ファイバFAが挿入さ

れてアライメントされ、アレイ状に配列された状態で固定される。アレイ型保持部材52の左右両端には、アライメント用の一対の突起52c、52dが形成されており、アレイ型受光部54に形成したアライメント用のV溝54e、54fに対して嵌合可能になっている。ファイバ溝52bに保持された各光ファイバFAは、図5に示す第1及び第2光ファイバF1、F2を組み合わせたものに相当する。つまり、各光ファイバFAを構成する一対のファイバ部分の接続面には、波長分割用のフィルタがそれぞれ設けられており、各フィルタに対向する位置には、受信用PDアレイ54cを構成する各フォトダイオード54gがそれぞれ一対一の関係で配置される。

図8Bに示すように、D-D矢視断面において、アレイ型保持部材52は、フェルール51側にくり抜かれて窪み52fとなっている。この窪み52fには、アレイ型発光部53に搭載した送信用LDアレイ53cとモニタ用PDアレイ53dとがはまり込む。この際、アレイ型保持部材52に形成されている上述の突起52c、52dが、アレイ型発光部53に形成したアライメント用のV溝53e、53fに嵌合する。アレイ型保持部材52の上記窪み52f側(紙面後方側)の端面に露出する各光ファイバFAの端面は、紙面に垂直に延びるファイバ溝52bに案内されて固定され、送信用LDアレイ53cを構成する各レーザダイオード53gに対してそれぞれ一対一の関係で配置される。

なお、図示を省略しているが、光モジュール50には、アレイ型保持部材52やアレイ型発光部53のほか、TIA等のチップ部品を搭載しペルチエ素子等によって冷却される冷却型電気回路基板も組み込まれる。

以下、図7等に示す光モジュール50の組立について説明する。まず、いずれかの光ファイバFAの長尺部分をフェルール51の端面41aに設けたファイバ導入口51bから内部に挿入し、アレイ型保持部材52に設けたファイバ溝52bに挿入して適宜配置する。なお、光ファイバFAの長尺部分の端面には、同一の傾斜角が設けられており、誘電体多層膜からなるフィルタが形成されている。次に、アレイ型保持部材52に設けたファイバ溝52bの他端(窪み52f)側からアレイ状の光ファイバFAの短尺部分を挿入して上記長尺部分の端面と突き合わせて適宜アライメントする。その後、上記短尺部分と長尺部分とを接着剤等

を利用してファイバ溝52bに固定する。

以上の工程を、アレイ状の各光ファイバFAについて繰り返し、全ての光ファイバFAをアレイ型保持部材52に精密にアライメントして固定する。その後、アレイ型発光部53とアレイ型受光部54とを、アレイ型保持部材52に対してアライメントし、フェルール51に固定する。次に、フェルール51の端面41aを研磨して長尺部分の後端面を鏡面状に仕上げる。最後に、冷却型電気回路基板その他のパーツをフェルール51に固定し、フェルール51をシリコーン樹脂やエポキシ樹脂により封止することで、光モジュール50を完成する。

(第4実施形態)

図9は、第4実施形態に係る光モジュールの構造を説明する側面図である。この光モジュール70は、第1実施形態に係るファイバ組立固定部材を変形して組み込んだものであり、OADM (optical add/drop multiplexer) として機能する。

光モジュール70の本体部分71は、ファイバ組立固定部材72と、3つの光ファイバF1、F2、F3とからなる。各光ファイバF1、F2、F3は、ファイバ組立固定部材72に設けた断面形状がΩ状のファイバ溝72aに挿入され、接着剤にて固定される。第1の光ファイバF1の端面には、第1のフィルタFL1が形成されており、波長λ1の信号光を反射する。また、第3の光ファイバF3の端面には、第2のフィルタFL2が形成されており、波長λ1の信号光を反射する。

第1フィルタFL1の位置には、第1フィルタFL1からの反射光を開口部23を介して取り出すための出射ポート74が設けられている。また、第2フィルタFL2の位置には、開口部23を介して第2フィルタFL2に信号光を入射させる入射ポート75が設けられている。前者の出射ポート74は、第1フィルタFL1で反射された信号光を集めるレンズ74aと、レンズ74aによる集光点に光ファイバ74bの端面を保持するフェルール74cとを備える。また、後者の入射ポート75は、光ファイバ75aを保持するフェルール75bと、光ファイバ75aの端面から出射した信号光を第2フィルタFL2の中心に集光するレンズ75cとを備える。

この光モジュール50の動作について説明する。第1光ファイバF1側から波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光を入射させると、第1フィルタFL1を通過する際に波長 λ_1 の信号光が反射され、開口部23を通過した後、出射ポート74に入射して光ファイバ74bに分岐される。これにより、第2光ファイバF2には、波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ の信号光が伝搬する。さらに、第2光ファイバF2から第3光ファイバF3に信号光が入射する際には、入射ポート75から入射する波長 λ_1 の信号光が第2フィルタFL2で反射されて合波され、第3光ファイバF3中を波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光が伝搬する。

(第5実施形態)

図10は、第5実施形態に係る光モジュールの構造を説明する側方断面図である。この光モジュール80は、図5に示す光モジュールの構成を基本としつつ、光源部から光ファイバに信号光を供給する際にスポットサイズを変換するためのスポットサイズ変換部90を組み込んだものである。

図10に示すように、光モジュール80は、レーザ光源部41と、光検出部42と、第1保持部材45と、第2保持部材46とを備えるが、これら各構成要素についての基本的な構造及び動作は、図5の場合と共通するので説明を省略する。第5実施形態では、図10においてレーザ光源部41の近傍にスポットサイズ変換部90が設けられている点で図5の場合と異なっている。

レーザ光源部41は、半導体レーザ素子41aとモニタ用フォトダイオード素子41bがSi基板上に搭載されるとともに、そのレーザ光源部41bに隣接してスポットサイズ変換部90が配置されている。このスポットサイズ変換部90は、スポットサイズ変換素子90aをSi基板上に搭載したものである。そして、スポットサイズ変換素子90aは、レーザ光源部41bから出力される波長1.3 μmの信号光を受け、そのスポットサイズを変換して出射し、第2保持部材46に固定された第2光ファイバF2の端部に供給する。

ここで、図11を用いて、スポットサイズ変換素子90aの構造及び動作を説明する。図11に示すように、スポットサイズ変換素子90aは、所定の材料からなる矩形状の平面光波回路であり、その内部に屈折率が異なる所定形状の伝搬領域Rが形成されている。この伝搬領域Rは、半導体レーザ素子41aから出力

された信号光を入射する入射端R aと、第2光ファイバF 2の端部に向けて信号光を出射する出射端R bを有するとともに、方形断面を有しそのサイズが出射側に近いほど拡大するように3つの部分領域R 1、R 2、R 3が連結された構造を有する。

図11においては、スポットサイズ変換素子90aについて、互いに直交するX方向及びY方向におけるサイズを示している。なお、X方向及びY方向はいずれも信号光の光軸に垂直であって、X方向が光モジュール80の横方向（図10の紙面垂直方向）であり、Y方向が光モジュール80の上下方向（図10の紙面水平方向）に一致する。

図11に示すように、伝搬領域Rのうち、入射端R aはサイズX 1、Y 1の方形状であり、出射端R bはサイズX 2、Y 2の方形状であるものとする。また、入射端R a側の部分領域R 1は、一定のサイズX 1、Y 1の方形断面で長さL 1の形状を有し、出射端R b側の部分領域R 3は、一定のサイズX 2、Y 2の方形断面で長さL 3の形状を有している。一方、中間の部分領域R 2は、その方形断面がサイズX 1、Y 1からサイズX 2、Y 2に徐々に広がる長さL 2の形状を有している。

一般に、半導体レーザ素子41bにおける光信号のスポットサイズは、第2光ファイバF 2の端部における光信号のスポットサイズと比べ、かなり小さくなっている。そのため、スポットサイズ変換素子90aは、入射端R aを介して部分領域R 1、R 2、R 3を伝搬される光信号のスポットサイズを次第に拡大させ、出射端R bから出射される光信号が第2光ファイバF 2の端部に適合するスポットサイズとなるような変換を行う。これにより、半導体レーザ素子41bと第2光ファイバF 2との間でスポットサイズが異なることに起因する結合損失を減少させることができる。

ここで、表1にスポットサイズ変換素子90aにおける伝搬領域Rの具体的な寸法条件の一例を示す。表1に示す寸法条件においては、伝搬領域RがY方向で同一サイズを保つとともにX方向でサイズが拡大するような構成に対応している。通常、半導体レーザ素子41bにおけるスポットサイズは、第2光ファイバF 2と比べて横方向（X方向）で小さくなるので、表1に示す寸法条件によって主に

スポットサイズをX方向で拡大する構成をとっている。

(表1)

項目	寸法
X 1	4. 5 μ m
Y 1	4. 5 μ m
L 1	100 μ m
L 2	300 μ m
L 3	100 μ m
X 2	10 μ m
Y 2	4. 5 μ m

以下、表1に示す寸法条件を適用したスポットサイズ変換素子90aを用いる場合の光モジュール80の特性について、図12～図14を用いて説明する。図12は、表1の寸法条件を適用したスポットサイズ変換素子90aの伝搬領域Rの大きさ（X方向）と伝搬光のスポットサイズの大きさの関係を表す図である。図12に示すように、伝搬領域RがX方向に大きくなるにつれて伝搬光のスポットサイズも一律に大きくなることがわかる。

図13は、半導体レーザ素子41b及び第2光ファイバF2のそれぞれの結合損失と伝搬領域Rの寸法の関係を示す図である。図13においては、半導体レーザ素子41bからスポットサイズ変換素子90aに光信号を結合するときの結合損失と、スポットサイズ変換素子41bから第2光ファイバF2に光信号を結合するときの結合損失を示しており、それぞれ伝搬領域Rの入射端Ra又は出射端Rbの各X方向の幅を変化させた場合の変化をプロットしている。

図13に示すように、半導体レーザ素子41bの側では、X方向の幅がほぼ4.5 μ mのときに最小の結合損失3.4dBが得られる。また、第2光ファイバF2の側では、X方向の幅がほぼ10 μ mのときに最小の結合損失0.6dBが得られる。従って、表1の寸法条件は、図13に示す特性に対して最適化されたものであるとともに、図13の結果に基づくトータルの結合損失は、0.6dB + 3.4dB = 4.0dBと算出される。一般に、半導体レーザ素子41bと第2光ファイバF2を直結する構成では、9～10dB程度の結合損失が生じることから、スポットサイズ変換素子90aを介在させる構成によって結合損失を5～

6 dB改善可能であることが確認された。

図14は、上述のスポットサイズ変換素子90aを用いて構成される光モジュール80(図10を参照)の出力パワーの温度特性を表す図である。図14においては、半導体レーザ素子41bの駆動電流に対する光モジュール80の出力パワーの関係について、温度範囲-40~85度にわたる変化を示している。第5実施形態では、上述したようにスポットサイズ変換素子90aによって結合損失を低減させることができるために、十分な出力パワーを確保することができる。なお、3つの光モジュール80を対象にして同様の実験を行った結果、スポットサイズ変換素子90aによる結合損失は、4dB程度(3.74dB~4.46dB)となることが確認された。

以上のように第5実施形態では、スポットサイズ変換素子90aを設ける構成としたことにより、半導体レーザ素子41aから第2光ファイバF2の端面に信号光を供給するときの結合損失を低減することができるので、光モジュール80の出力パワーを十分に確保可能となる。この場合、スポットサイズを変換するためのレンズ等で構成した空間光学系や、スポットサイズ変換機能を持つ半導体レーザ素子は用いる必要がなく、導波路技術等の一般的な製造技術に基づく簡単な構造を採用するため、簡単な構成で低コスト化を図ることができる。

次に、図15は、第2保持部材46に対するスポットサイズ変換部90の位置合わせを説明する断面図である。スポットサイズ変換部90のSi基板には、中央に載置されたスポットサイズ変換素子90aの両側に2つのV溝91、92が形成されている。一方、第2保持部材46には、上述のV溝91、92に対応する位置に2つの突起93、94が形成されている。よって、2つのV溝91、92と2つの突起93、94を嵌合させる際、スポットサイズ変換部90上に一定の圧力で第2保持部材46を押し付けることにより、両者を精密に位置合わせすることができる。

なお、スポットサイズ変換部90とレーザ光源部41は、別基板で構成されているので、レーザ光源部41についても図15と同様に構成することにより、両者を独立に位置合わせすることが可能となる。このようにスポットサイズ変換部90とレーザ光源部41をそれぞれ位置合わせした状態で、パッケージ88と基

板87を封止することにより光モジュール80が完成する。

次に、第5実施形態に係る光モジュール80の変形例について説明する。この変形例は、第3実施形態と同様に光モジュール80を複数チャンネル化する構成に対応する。

図16は、本変形例におけるスポットサイズ変換素子90aの上面図である。図16に示すスポットサイズ変換素子90aには、同一形状の8本の伝搬領域Rが並列に配置され、それぞれの伝搬領域を光信号が伝送可能に構成されている。この場合、半導体レーザ素子41bと第2光ファイバF2をそれぞれアレイ型に構成し、スポットサイズ変換素子90aの各伝搬領域Rの位置と適合するように配置すれば、8チャンネルの光モジュール80を構成することができる。なお、図16では、8本の伝搬領域Rの間隔が均等になる例を示しているが、異なる間隔で並列配置する構成にしてもよい。

以上の第5実施形態においては、スポットサイズ変換素子90aを平面光波回路により形成する場合を説明したが、これに限らず、スポットサイズ変換素子90aを光ファイバで形成してもよい。この場合、二乗型屈折率分布ファイバGIF(graded-index fiber)、もしくは熱拡散技術により光ファイバのMFD(モードフィールド径)を局所的に拡大させたファイバであるTEC(thermally-diffused expanded core)ファイバを用いることができる。

なお、スポットサイズ変換素子90aに光ファイバを利用する場合は、半導体レーザ素子41bと第2光ファイバF2との光結合効率を考慮してその長さを決定する。つまり、光ファイバの長さは、半導体レーザ素子41bからの出力光が第2光ファイバF2に最も効率よく(挿入損失が最小になるように)結合可能なスポットサイズに変換される長さに設定する。また、スポットサイズ変換素子90aを利用する光ファイバは、SMFと融着させて使用してもよい。このように光ファイバを利用してスポットサイズ変換素子90aを構成することにより、半導体レーザ素子41bと第2光ファイバF2を低損失で光学的に結合させることができとなる。

以上、第1乃至第5実施形態に即して本発明を説明したが、本発明は、上記各実施形態に限定されるものではない。例えば、上記各実施形態において、ファイ

バ溝20、45a、52bの断面形状は、概ねΩ状である限りサイズや形状を適宜変更することができる。ただし、ファイバ溝20、45a、52bの横断面が厳密な意味での半円より浅くなると、光ファイバの保持が不確実になる。また、ファイバ溝20、45a、52bの横断面が円に近くなると、取り出し窓として機能する開口部23を十分なサイズとできなくなる。具体的には、ファイバ溝20、45a、52bに固定される光ファイバの直径すなわち外径が例えば $125\mu m$ である場合、ファイバ溝20、45a、52bの内面に接する円(断面円)の中心が $10\sim60\mu m$ の深さになるようにすることで、光ファイバの好適な保持を確保しつつ、十分なサイズの開口部23を形成することができる。

また、第2及び第3実施形態では、V溝42c、42d、54e、54fと、突起45c、45d、52c、52dとをアライメント手段として用いて、フィルタFLや光ファイバと、フォトダイオードやレーザダイオードの入出射面とのアライメントを行っているが、一对のV溝とこれらの間に挟まれるロッド状のファイバとを用いてこれらのアライメントを達成することもできる。

また、上記各実施形態では、第1光ファイバF1等の端面に誘電体多層膜からなるフィルタFLを形成しているが、このフィルタFLの特性は、目的に応じて適宜変更することができ、さらにハーフミラー、ミラー、FBG(Fiber Bragg Grating)等の光学素子(広義のフィルタ)に置き換えることもできる。

また、上記実各施形態では、光ファイバをアライメントして固定するためのファイバ組立固定部材について説明したが、同様の原理によって、導波路ロッド等を含む他の種類の光導波路を固定することもできる。

産業上の利用可能性

以上の説明で明らかかなように、本発明に係る光部品によれば、所定の軸方向に沿って延びる保持面に沿って光導波路を挿入するだけで光導波路の簡易な保持やアライメントが可能になる。また、開口部を利用してことで、導波路用溝に位置決めされた光導波路の離脱を防止しつつ、外部から光導波路中に光を導入したり、開口部を介して光導波路中から必要な光を取り出したりすることができる。

さらに、光導波路の導波路用溝への取付けに際して開口部を観察することによ

り、光導波路端部のアライメントが比較的簡単なものとなり組立精度を高めることができる。

請求の範囲

1 所定の軸方向に沿って延びる面形状を有し、少なくとも1つの光導波路を、当該少なくとも一つの光導波路の側面の少なくとも一部で位置決めしつつ保持可能な導波路保持面と、

前記導波路保持面に略対向して延在するとともに、前記所定の軸方向に垂直な所定の幅方向において、前記少なくとも一つの光導波路の外径よりも狭い幅を有する開口部と、

を有するガイド用の導波路用溝を備えた光部品。

2. 前記導波路用溝において、前記導波路保持面は、中心角が 180° よりも所定角度以上に大きな円弧を当該円弧の面に垂直な前記所定の軸方向に延ばすことによって得られる半筒形状を有し、前記開口部は、半筒形状の前記導波路持面について周方向の一対の対向する周端部間に延在することを特徴とする請求項1記載の光部品。

3. 前記光導波路には、所定の特性を持つフィルタが備えられ、当該フィルタは、前記開口部に対応して位置するように固定されることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光部品。

4. 前記フィルタは、前記光導波路を伝搬される伝搬光の光軸に対し所定の傾斜角を有することを特徴とする請求項3に記載の光部品。

5. 前記フィルタは、光導波路の端面に設けられたことを特徴とする請求項3に記載の光部品。

6. 前記導波路用溝の少なくとも一部の断面形状がΩ状であることを特徴する請求項1又は請求項2に記載の光部品。

7. 複数の前記導波路用溝が備えられたことを特徴とする請求項1、請求項2、請求項6のいずれかに記載の光部品。

8. 前記光導波路は、その側面の少なくとも一部が前記導波路用溝に係止されていることを特徴とする請求項1、請求項2、請求項6、請求項7のいずれかに記載の光部品。

9. 請求項1、請求項2、請求項6乃至請求項8のいずれかに記載の光部品と、

前記光部品と光学的に結合される光学素子とを備え、

前記光部品と前記光学素子とは、前記光部品の開口部を介して光学的に結合されることを特徴とする光モジュール。

1 0. 前記光部品がアライメント手段をさらに備え、当該アライメント手段により前記光部品が位置決めされることを特徴とする請求項 9 に記載の光モジュール。

1 1. 請求項 1 乃至請求項 8 のいずれかに記載の光部品と、

前記光部品に導かれる信号光を出力する光源部と、

前記光源部から出力された信号光のスポットサイズを変換し、前記光部品の前記少なくとも一つの光導波路の端部に適合するスポットサイズで結合するスポットサイズ変換部と、

を備えることを特徴とする光モジュール。

1 2. 前記スポットサイズ変換部は、基板上に載置された平面光波回路により形成されることを特徴とする請求項 1 1 に記載の光モジュール。

1 3. 前記スポットサイズ変換部が形成される基板と前記光源部が形成される基板は別体で構成され、それぞれ独立に位置決め可能であることを特徴とする請求項 1 2 に記載の光モジュール。

1 4. 前記スポットサイズが形成される基板と前記光源部が形成される基板には、それぞれV溝が形成されるとともに、前記光部品を保持する保持部材に突起が形成され、前記各々のV溝と前記突起を嵌合することにより位置決め可能であることを特徴とする請求項 1 3 に記載の光モジュール。

図1A

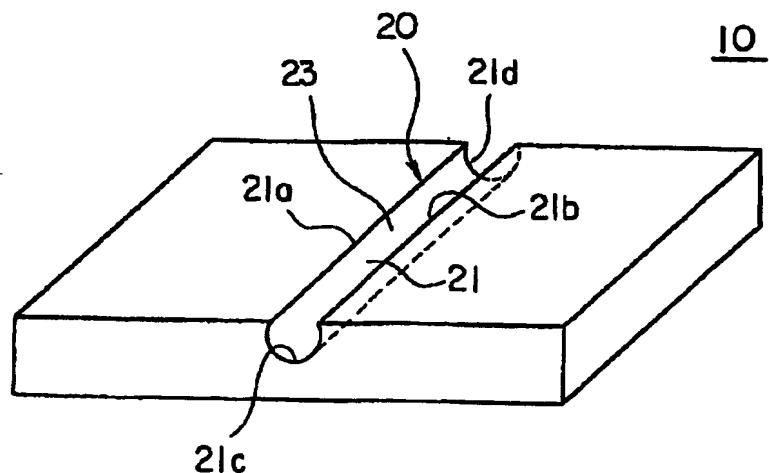


図1B

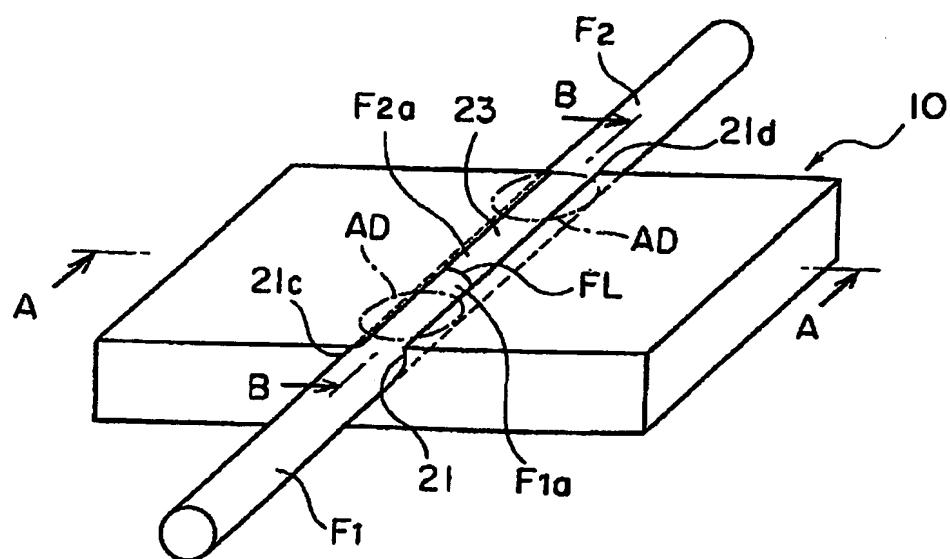


図2A

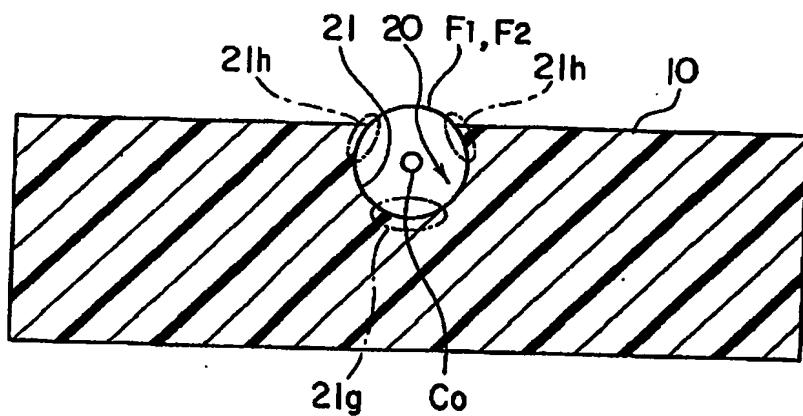


図2B

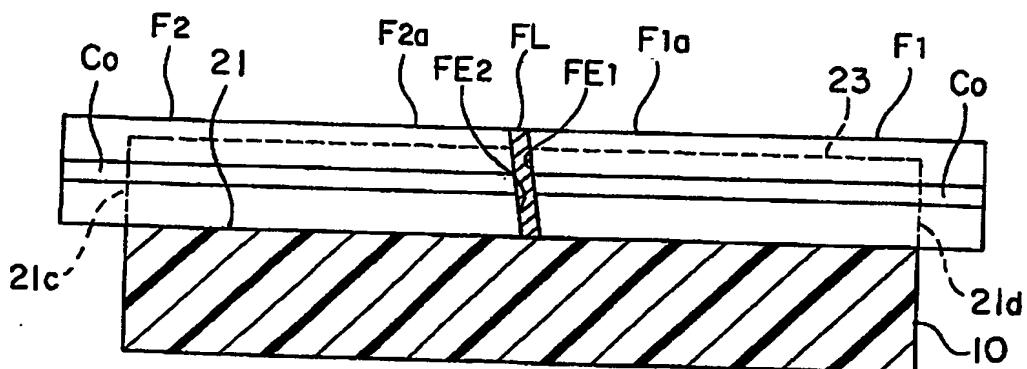


図3A

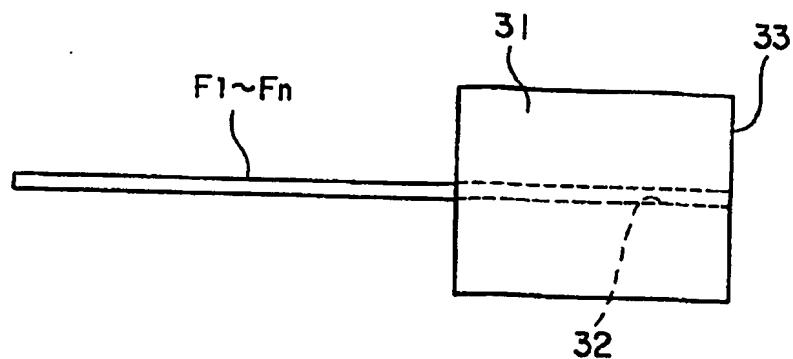


図3B

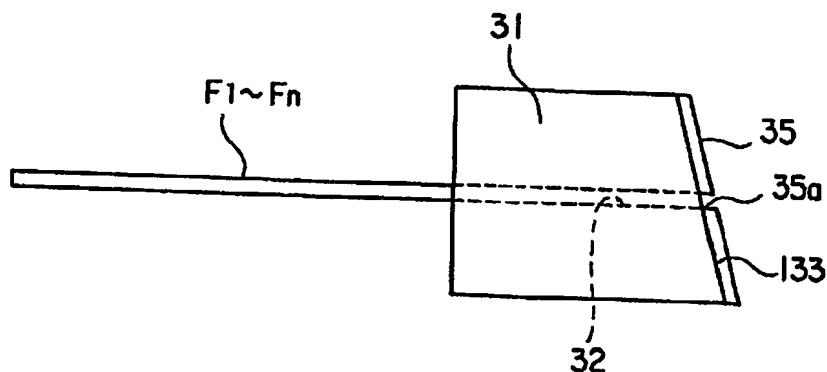


図3C

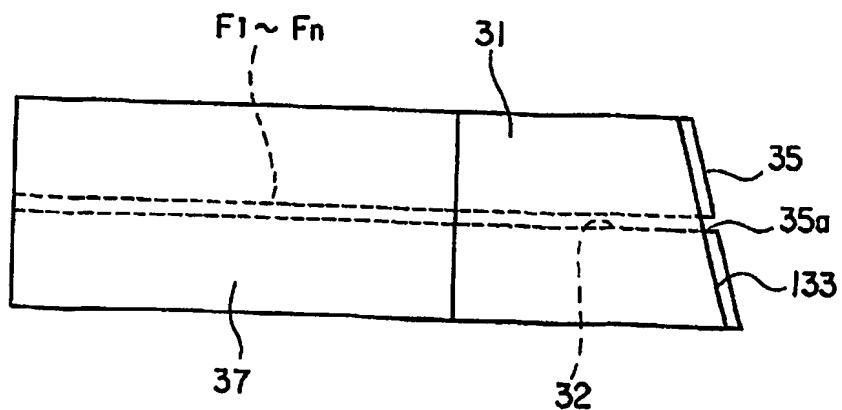


図4A

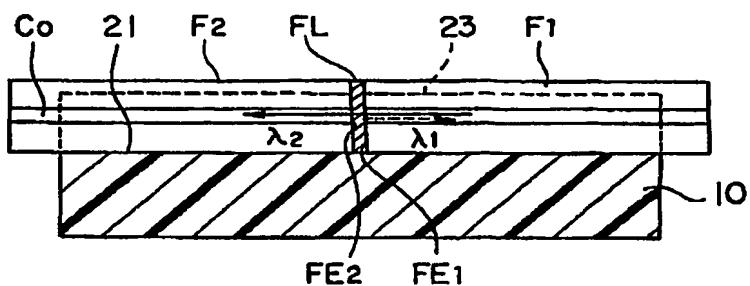


図4B

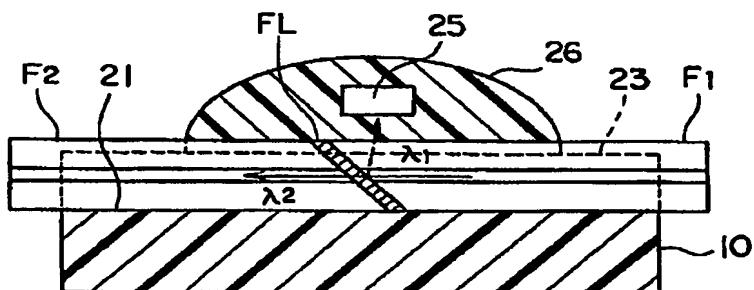


図4C

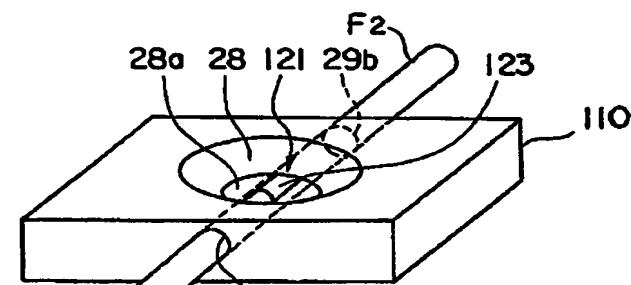


図4D

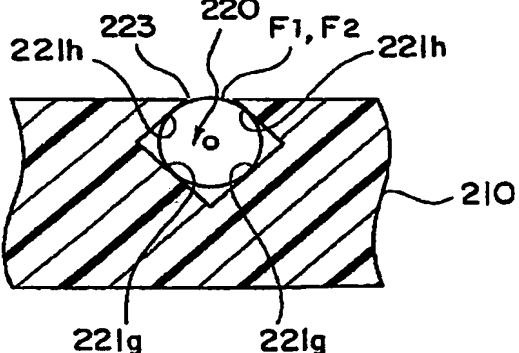


図5

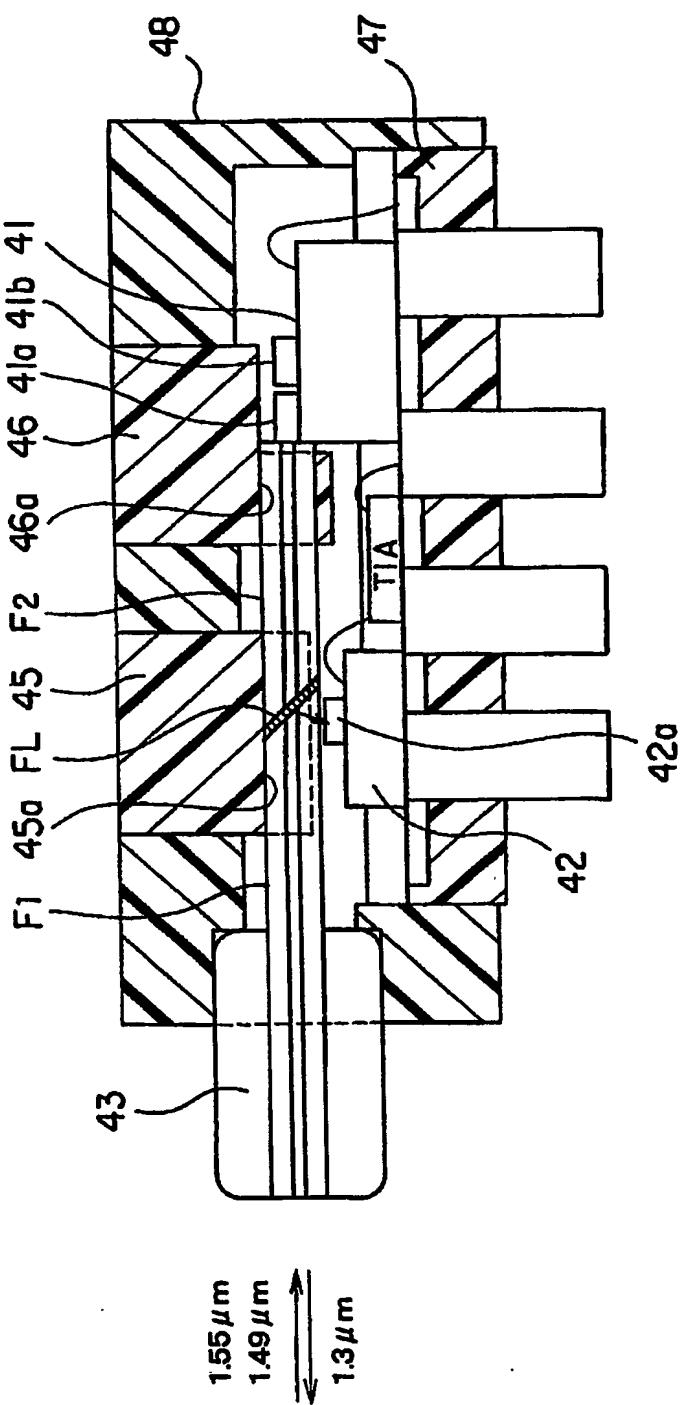
40

図6

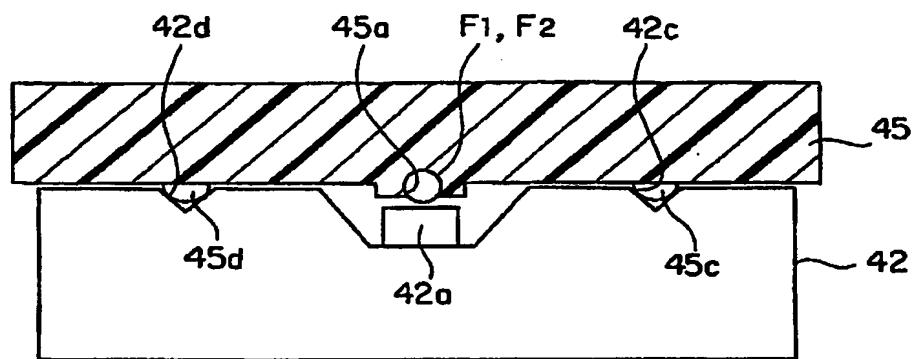


図7

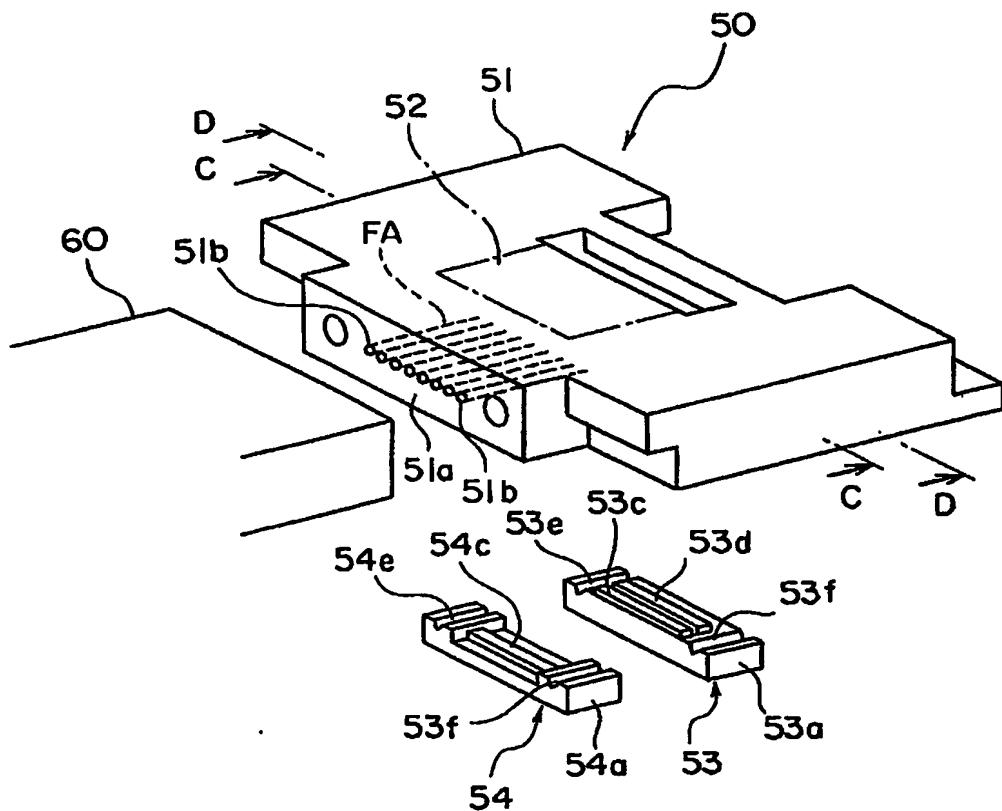


図8A

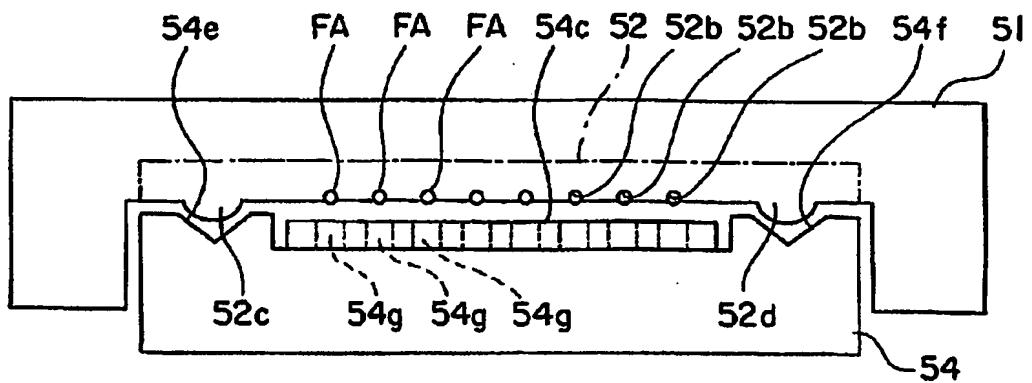
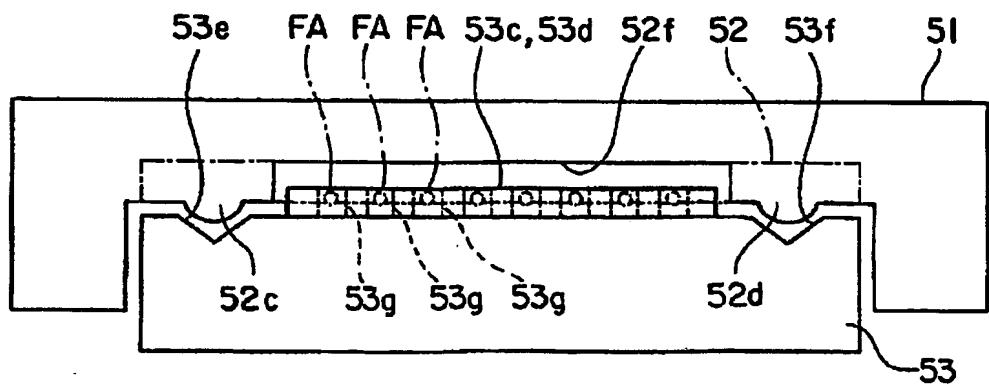


図8B



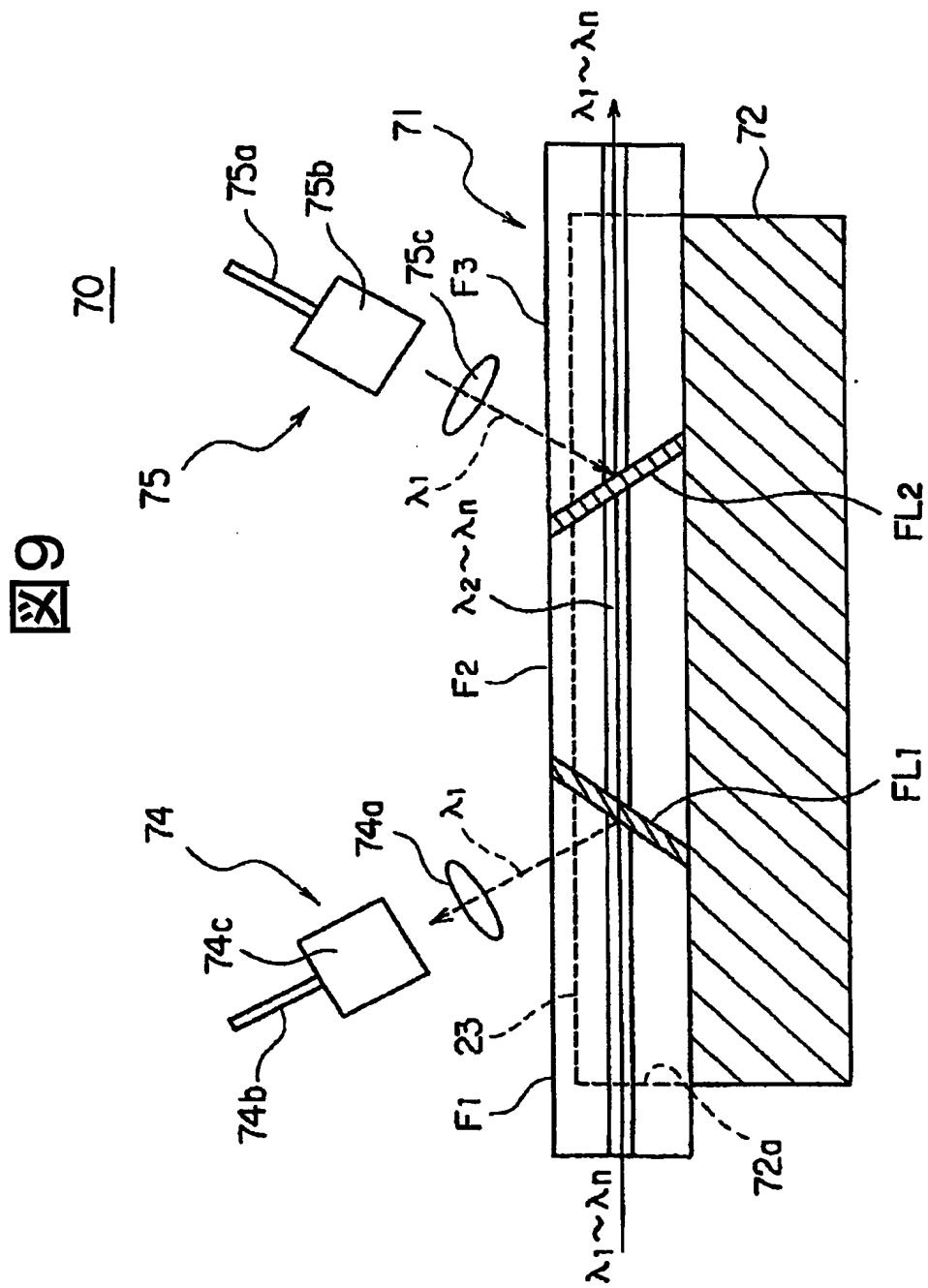


図10

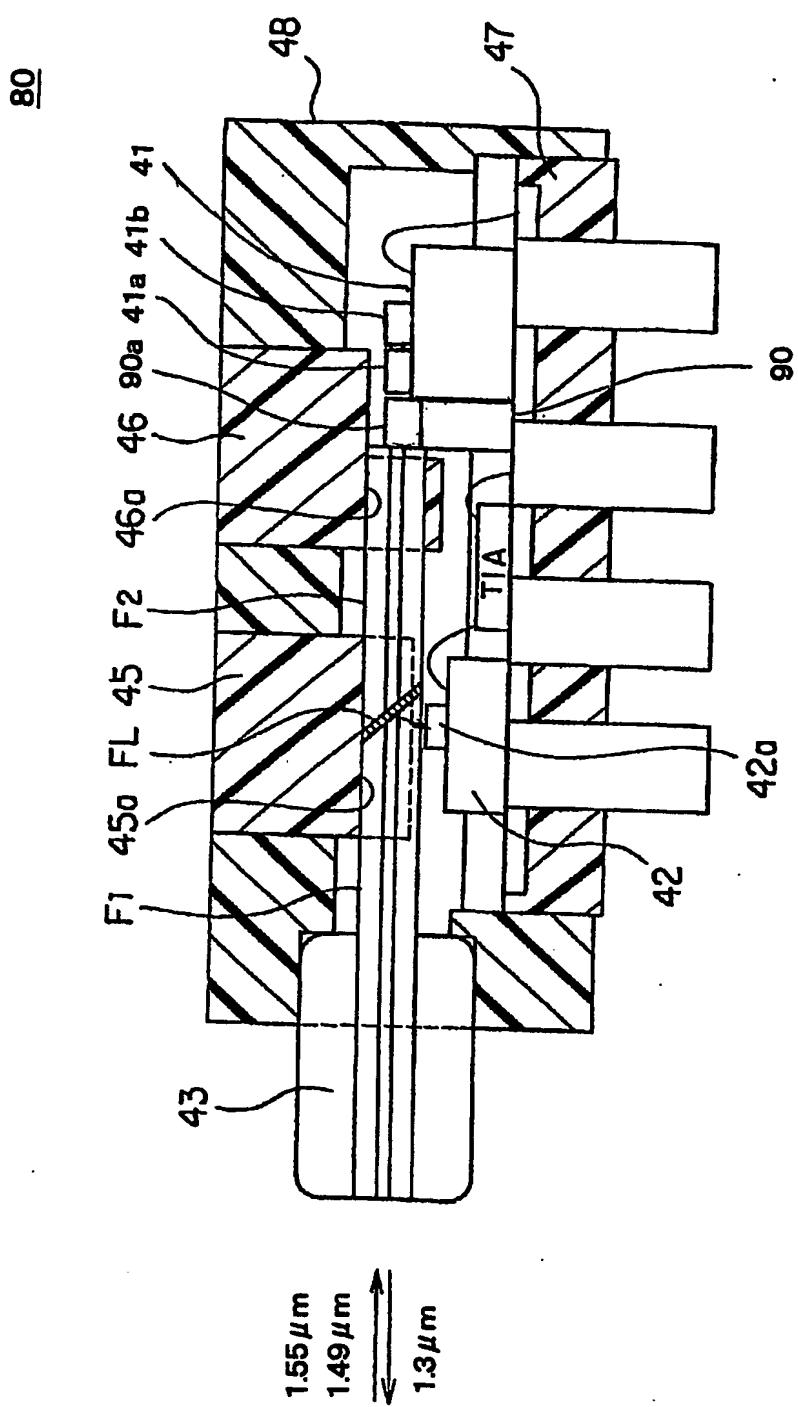


図 11

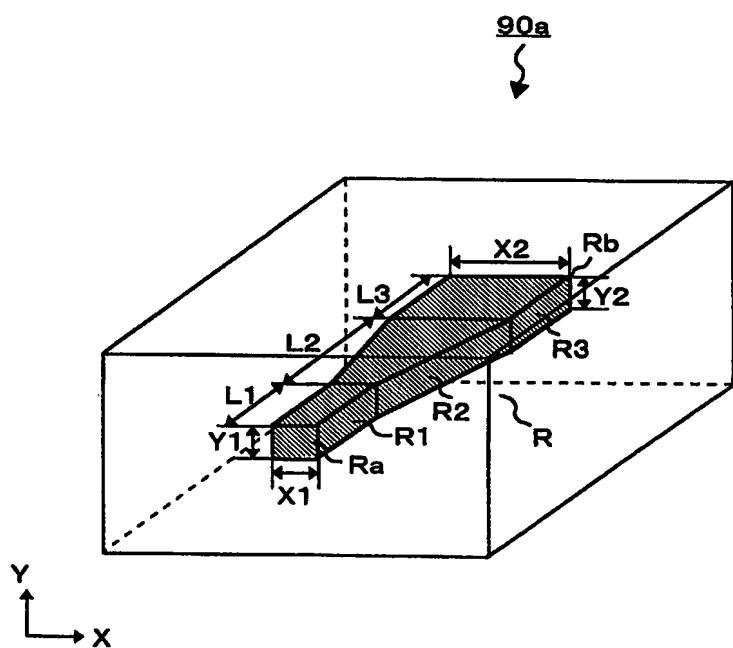


図12

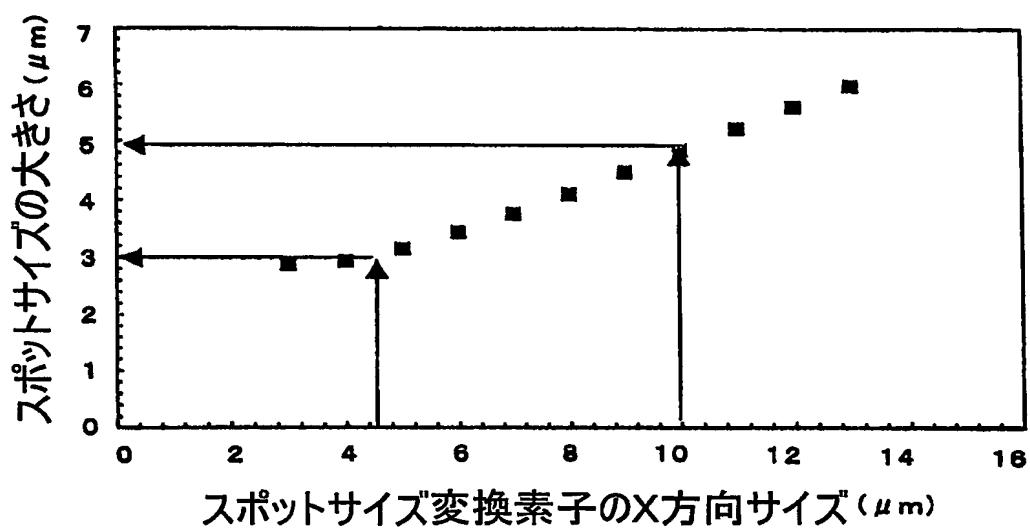


図13

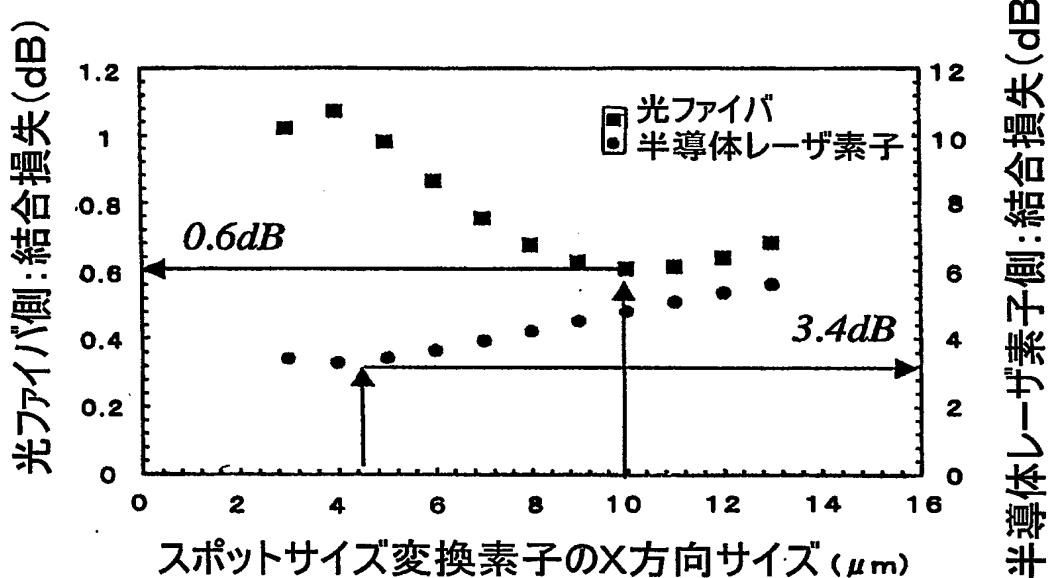


図14

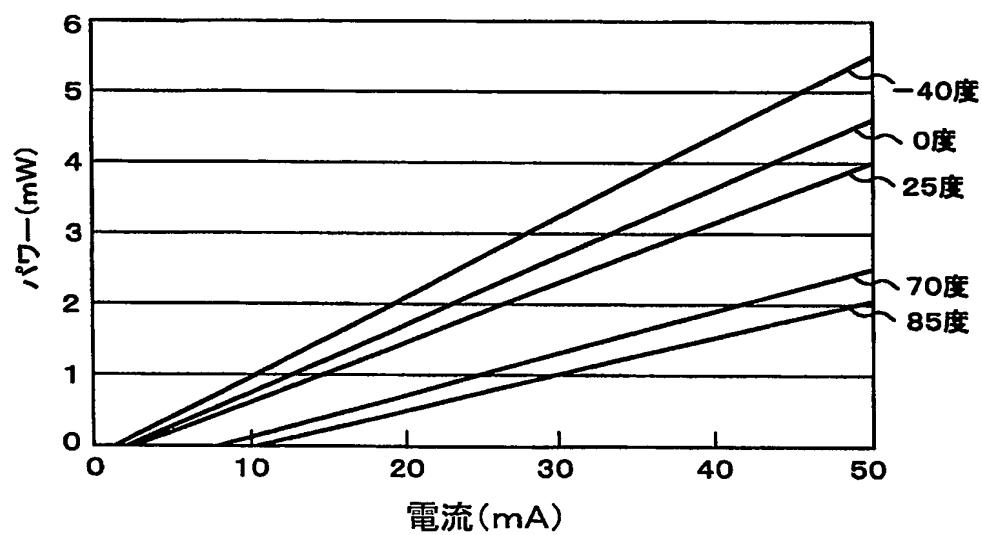


図15

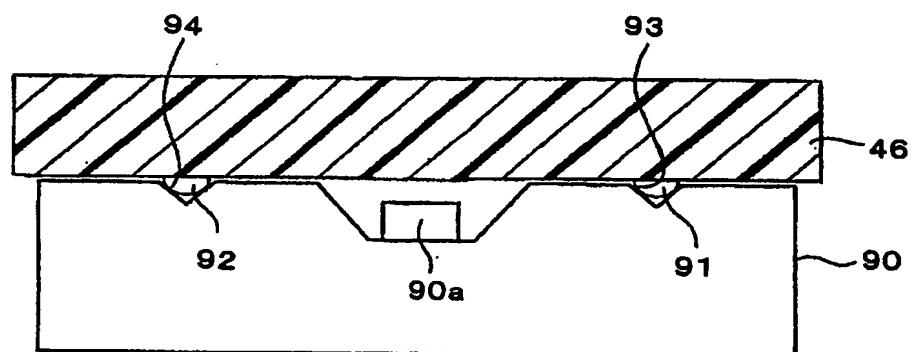
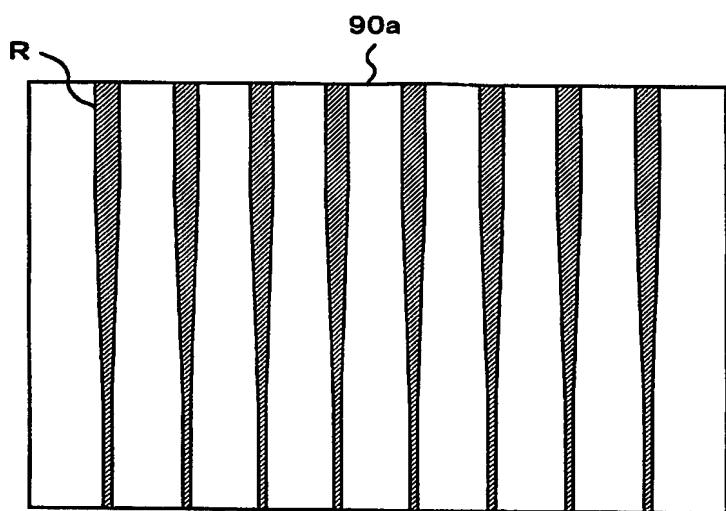


図 16**16／16**